Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 1- 11

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۱۱-۱

مقاله علمی-پژوهشی

تاثیر فرمولاسیون و شرایط فرایند اکستروژن بر ویژگی‌های میان وعده حاوی پودر عناب

الناز میلانی[۱]- فخری شهیدی[۲*]- الهام انصاری‌فر[۳]- محمد خلیلیان موحد[٤]- فریده صالحی‌پور[٥]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۱۴

چکیده

مصرف بالای میان وعده کم‌ارزش و سوء تغذیه اقشار جامعه به‌خصوص کودکان و نوجوانان یکی از معضلاتی است که امروزه در جامعه وجود دارد. لذا در این پژوهش تولید میان وعده با ارزش غذایی بالا حاوی آرد عناب مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش بر پایه طرح مرکب مرکزی چرخش‌پذیر، اثر متغیرهای فرایند اکستروژن شامل سرعت چرخش ماردون (۱۲۰-۱۵۰-۱۸۰ دور بر دقیقه)، افزودن آرد عناب (۵-۱۰-۱۵ درصد) و رطوبت خوراک ورودی (۱۲-۱۶-۲۰ درصد) بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، بافتی و رنگ فراورده حجیم شده بر پایه ذرت-گندم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد؛ افزودن آرد عناب تا ۱۵ درصد به‌طور مستقل موجب افزایش دانسیته ۰/۳۳، سختی بافت ۳۵/۷۳ نیوتن، حلالیت ۴۲درصد و پارامتر قرمزی رنگ ۳/۴۱ و کاهش پارامتر روشنایی رنگ ۸۹/۱ شد. با این حال اثر همزمان دو پارامتر سرعت چرخش و افزودن آرد عناب سبب بهبود خصوصیات فراورده گردید به‌نحوی که با افزایش سرعت چرخش ماردون و در نتیجه کاهش ویسکوزیته موجب کاهش سختی بافت تا ۱/۷۹ نیوتن گردید. شرایط بهینه تولید میان وعده اکسترود شده، شامل میزان رطوبت خوراک ۱۳/۱۹ درصد، میزان آرد عناب ۶/۳۰ درصد و سرعت چرخش ماردون ۱۲۲/۲ دور بر دقیقه تعیین گردید.

واژه‌های کلیدی: اسنک حجیم، رژیمی، اکستروژن، عناب

مقدمه

مهمترین مواد اولیه‌ای که برای تولید میان وعده‌های غذایی استفاده می‌شود؛ اجزای نشاسته‌ای مثل ذرت، برنج و گندم بوده که از نظر قند، فیبر، ویتامین و مواد معدنی فقیر هستند. به‌دلیل افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان در مورد ارزش غذایی فراورده‌های غذایی، گرایش تولیدکنندگان به سمت مواد غذایی سرشار از ریزمغذی‌ها، ویتامین‌ها، پروتئین و فیبرهای رژیمی، قند و رنگ‌های طبیعی، کم‌چربی و عاری از هرگونه افزودنی‌های سنتزی افزایش یافته است (Altan *et al.*, 2009; Maskan&Aitan, 2011).

تحقیقات متعددی در زمینه استفاده از ترکیبات فراسودمند در انواع میان وعده‌های غذایی صورت گرفته است. با توجه به اینکه فیبر یکی از ترکیبات غذایی مفید برای بیماران دیابتی، افراد چاق و بیماران دچار مشکلات گوارشی از جمله یبوست می‌باشد، لذا غنی‌سازی مواد غذایی با چنین ترکیبی امری ضروری به‌نظر می‌رسد.

میوه عناب با نام علمی *Zizyphus jujube Mille* متعلق به خانواده رامناسه (*Rhamnaceae*) یکی دیگر از منابع گیاهی غنی از فیبر می باشد. از لحاظ ویتامین‌ها به‌خصوص ویتامین C بسیار غنی است؛ رطوبت، قند، پروتئین خام و فیبر رژیمی در عناب خشک شده به‌ترتیب ۲۵/۷، ۶۰، ۴/۹ و ۴/۷ درصد است (حسینی‌آوا، ۱۳۸۱). از میوه عناب ترکیب‌های تری ترپنوئیدی، فلاونوئیدی و آلکالوئیدی استخراج شده است. استان خراسان جنوبی با سطح زیر کشت ۳۱۸۷ هکتار در سال ۱۳۹۵بیش از ۹۷ درصد کل تولید و مهمترین مرکز کشت و پرورش عناب بوده است (سامانه هوشمند اطلاعات کشاورزی وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۵). عناب یک میوه عملگر است که نیاز صنعت میان وعده‌های غذایی را به فراورده سالم و فراسودمند، برطرف می‌کند. با توجه به تولید بالای عناب و در راستای افزایش کارایی آن و اصلاح الگوی مصرف فراورده‌های غذایی، پژوهش در زمینه کاربرد عناب در فرمولاسیون انواع میان وعده‌های غذایی امری ضروری به‌نظر می‌رسد. پژوهشگران در مورد افزودن انواع میوه و ضایعات میوها به میان وعده‌های حجیم غذایی مطالعات فراوانی انجام داده‌اند (میلانی و همکاران، ۱۳۹۶؛ لطفی شیرازی و همکاران، ۱۳۹۷؛ فیوضی و همکاران، ۱۳۹۷؛ Lazou *et al.*, 2010; Bisharat *et al.*,

۱- دانشیار، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی خراسان رضوی.
۲، ۴ و ۵- به‌ترتیب استاد، دانشجوی دکتری و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
۳- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند.
(* - نویسنده مسئول: Email: fshahidi@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v17i1.80211

2013; Caltinoglu *et al*., 2013; Bott and Chambers 2006).
با این حال تاکنون پژوهش‌های محدودی در زمینه افزودن پودر عناب در فرمولاسیون نان حجیم و کیک اسفنجی صورت گرفته است (غروی، ۱۳۹۵؛ فایقی، ۱۳۹۶؛ سیروس، ۱۳۹۶؛ احمدیان، ۱۳۹۶).

کیفیت نهایی فراورده اکسترود شده ارتباط مستقیم با پارامترهایی نظیر نوع اکسترودر، ساختار مارپیچ، رطوبت مواد ورودی، پروفایل دمایی داخل محفظه اکسترودر، سرعت چرخش مارپیچ، سرعت ورود مواد و ترکیبات ورودی دارد. (Maskan & Aitan, 2011; Yagci *et al*., 2009). از آنجا که عناب محصول استراتژیک منطقه شرق ایران می‌باشد و همچنین نقش و اهمیت انواع میان وعده در رژیم غذایی اقشار مختلف جامعه و با تاکید بر ارتقای ارزش غذایی آن؛ هدف از این پژوهش ارزیابی اثر متغیرهای ترکیب خوراک (سطوح غلظت و رطوبت آرد عناب) و سرعت چرخش ماردون بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، حسی میان وعده اکسترود و یافتن شرایط بهینه مناسب می باشد.

مواد و روش‌ها

میوه خشک شده عناب واریته *spinosa* تهیه شده در باغ گیاهان دارویی جهاددانشگاهی بیرجند به‌طور کامل به‌وسیله آسیاب چکشی و سایشی آزمایشگاهی، آسیاب گردید. به‌منظور دانه‌بندی یکنواخت، آرد آسیاب شده، از الک با مش ۵۰ عبور داده شدند (میلانی و همکاران، ۱۳۹۶). ویژگی‌های آرد عناب ورودی توسط روش AACC (۲۰۰۰) تعیین گردید (AACC.,2000).

پخت اکستروژن

پخت اکستروژن توسط اکسترودر دو مارپیچ با چرخش هم جهت (DS56، Jinan Saxin، چین) انجام پذیرفت. پایه اکسترودر ترکیبی از بلغور ذرت–گندم به نسبت ۵۰–۵۰ بود. با افزودن آب مقطر رطوبت خمیر ورودی تنظیم شد. فرایند اکستروژن با سرعت ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ دور بر دقیقه، رطوبت خوراک ۱۲، ۱۶ و ۲۰ درصد و درصد جایگزینی آرد عناب ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد، سرعت ورودی ۲۴ گرم بر دقیقه، قطر دای ۴ میلی‌متر و دمای ثابت ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. اسنک‌های خروجی از اکسترودر به‌منظور خشک کردن بر روی نوار نقاله خشک‌کن تونلی با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و در پلاستیک‌های پلی‌اتیلنی کدگذاری شده ودر دمای اتاق نگهداری گردید (فیوضی و همکاران، ۱۳۹۶).

دانسیته توده

دانسیته میان وعده با روش جابه‌جایی با دانه ارزن طبق روش استاندارد (۲۰۰۰) AACC به شماره ۰۵–۱۰ انجام شد.

حلالیت در آب

۰/۵ گرم از نمونه آسیاب شده در لوله فالکون ۱۵ میلی‌لیتر ریخته و ۱۰ سی‌سی آب مقطر به آن افزوده شد. نمونه به مدت ۲۰ دقیقه به‌هم زده شد. سپس در دستگاه سانتریفوژ به مدت ۲۵ دقیقه و با سرعت ۳۰۰۰×g سانتریفوژ گردید (Anderson *et al*., 1970). حلالیت در آب براساس معادله زیر و با استفاده از آون هوای داغ Memmert در ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد محاسبه شد.

$$WSI=\frac{Mds}{Ms} \quad (1)$$

Mds= وزن ماده جامد خشک بر حسب گرم

سختی

برای اندازه‌گیری سختی بافت، ابتدا نمونه به‌وسیله آون تا رسیدن به رطوبت ۶ درصد خشک گردید. زیرا این رطوبت برای اندازه‌گیری بافت مطلوب در نظر گرفته می‌شود. اندازه‌گیری سختی با دستگاه بافت‌سنج (AMETEKlloyd, TA-Plus instrments Ltd, USA) و توسط آزمون نفوذی انجام شد. بدین منظور نمونه‌ها توسط پروب استوانه‌ای ۲ mm و بارگذاری پروب تا ۱۰۰ N و با سرعت نفوذ $1mms^{-1}$ به میزان ۷۰ درصد قطر نمونه اولیه تحت فشار قرار گرفت (Lazou, 2010).

پارامترهای رنگی

برای اندازه‌گیری پارامترهای رنگی، از روش پردازش تصویر استفاده شد. برای این منظور، نمونه‌های میان وعده به‌وسیله چاقوی تیز با احتیاط به‌صورت طولی به دو نیم تقسیم شدند. تصویربرداری با استفاده از دوربین (Canon Eos 1000D ،CANON) در اتاقک مخصوص این کار که دارای دیواره‌های سیاه بود انجام شد. تصاویر گرفته شده به نرم‌افزار فتوشاپ CS5 منتقل و برش قسمت دلخواه انجام شد و بعد از حذف layer از قسمت پشت زمینه، تصویر با فرمت JPG ذخیره شد. سپس تصویر به نرم‌افزار Image J انتقال یافت.از آنجا که پارامترهای رنگی $L^*a^*b^*$ وابسته به ابزار اندازه‌گیری نبوده، بدون توجه به خروجی یا ورودی، رنگ یکنواختی را فراهم می‌کنند، تصاویر به‌دست آمده از فضای رنگی RBG به فضای رنگی $L^*a^*b^*$ تبدیل شدند. مقادیر L^* به‌عنوان شاخص روشنی هست و بین صفر (سیاه رنگ) تا ۱۰۰ (سفید رنگ) متغیر است، مقادیر $+a^*$ شاخص قرمزی و مقادیر $-a^*$ شاخص سبزی نمونه‌ها هست و $+b^*$ برای شاخص زردی و $-b^*$ برای شاخص آبی نمونه‌ها گزارش گردید.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

طرح مرکب مرکزی چرخش‌پذیر شامل مجموعه‌ای از تکنیک‌های آماری بوده و در بهینه‌سازی فرآیندهایی به‌کار می‌رود که پاسخ مورد نظر توسط تعدادی از متغیرها تحت تاثیر قرار می‌گیرد شمای گرافیکی مدل ریاضی سبب تعریف واژه متدولوژی سطح پاسخ شده است. با کمک این طرح آماری، تعداد آزمایش‌ها کاهش یافته و کلیه ضرایب مدل رگرسیون و درجه دوم و اثر متقابل فاکتورها، قابل برآورد هستند. مهمترین مسئله این تحقیق بررسی آثار اصلی و متقابل فاکتورها بود، از این رو طرح آماری سطح پاسخ انتخاب شد (میلانی و همکاران، ۱۳۹۶). در این مطالعه اثر متغیرهای مستقل شامل A آرد عناب، B رطوبت خوراک و C سرعت ماردون، در جدول ۱ نشان داده شده است. شش تکرار نقطه مرکزی برای تخمین خطای آزمایش استفاده شد. در مرحله دوم طرح آماری گزینش شده و رابطه مدل مورد استفاده برای پیش‌بینی، برازش شده و مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. مرحله سوم شامل ارائه گرافیکی رابطه مدل و تعیین شرایط عملیاتی بهینه بود و توسط نمودار سطح پاسخ و کنتور انجام پذیرفت. شرایط عملیاتی بهینه، با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی عددی جستجو شد (Selan and Brazaca, 2014).

جدول ۱- ترکیبات شیمیایی و تغذیه‌ای مواد اولیه براساس وزن خشک

فاکتور	چربی (گرم در ۱۰۰ گرم)	پروتئین (گرم در ۱۰۰ گرم)	رطوبت (درصد)	فیبر رژیمی کل (درصد)	خاکستر (درصد)
آرد عناب	۰/۸۷	۲/۱۴	۳/۶	۳/۹۸	۱/۶۸
بلغور ذرت	۳/۳۵۵	۹/۸۷	۹/۷۳	۲/۴۵	۰/۹۲
آرد گندم	۲/۳۱	۹/۳۴	۷/۱	۲/۹۶	۱/۷۹

جدول ۲- سطوح افزودن متغیرهای مستقل

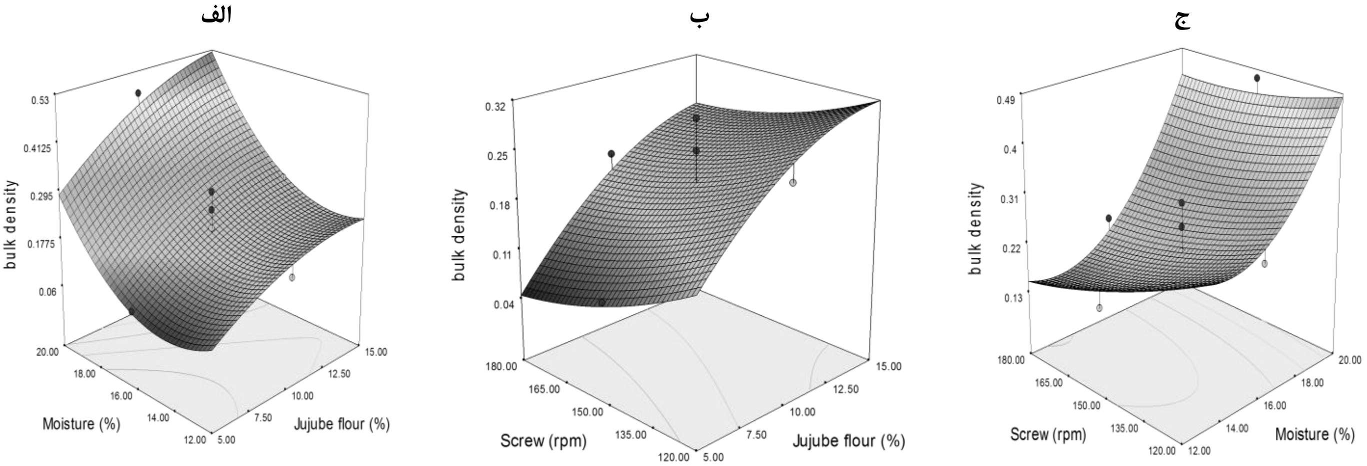
متغیرهای مستقل	نماد ریاضی	کد و سطح مربوطه		
		+۱	۰	-۱
سطوح افزودن آرد عناب (درصد)	A	۱۵	۱۰	۵
رطوبت خوراک (درصد)	B	۲۰	۱۶	۱۲
سرعت چرخش ماردون (rpm)	C	۱۸۰	۱۵۰	۱۲۰

نتایج و بحث

دانسیته توده

دانسیته توده میزان پف کردن محصول اکسترود شده در تمام جهات را نشان می‌دهد (Caltinoglu *et al*., 2013). نتایج آنالیز واریانس نشان داد (جدول ۲) که مدل چند جمله‌ای درجه دوم برای چگالی توده از نظر آماری معنی‌دار بود، علاوه بر آن اثرات خطی آرد عناب، سرعت چرخش ماردون و رطوبت و عبارت درجه دوم رطوبت ورودی اثر معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر چگالی توده داشتند. با افزایش میزان آرد عناب، دانسیته توده افزایش یافت که این امر به دلیل افزایش میزان فیبر در خوراک می‌باشد (شکل ۱، الف). فیبر باعث پاره شدن سلول‌های هوا شده و به نشاسته موجود در دیواره سلول متصل شده که باعث ایجاد کمپلکس‌های سلولز، نشاسته و پروتئین می‌گردد و توانایی انبساط محصول را محدود می‌کنند. بنابراین، دانسیته توده افزایش می‌یابد (Lue *et al*., 1994). اثرات مشابه فیبر برای آرد ذرت و تفاله آناناس اکسترود شده (Selani *et al*., 2014)، مخلوط آرد جو و تفاله انگور (Altan *et al*., 2009)، و همچنین ذرت و فیبر چغندرقند (Lue *et al*., 1994)مشاهده شده است. با افزایش رطوبت خمیر ورودی، میزان انبساط کاهش و دانسیته توده افزایش یافت (شکل ۱، الف و ج). رطوبت باعث کاهش الاستیسیته شده و ژلاتیناسیون نشاسته را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Korkerd *et al*., 2016; Thymi *et al*., 2005). در شکل (۱- ب و ج) مشاهده می‌شود که با افزایش سرعت چرخش ماردون، میزان دانسیته توده محصولات اکسترورد شده بر پایه ذرت-گندم کاهش می‌یابد. سرعت‌های بالای مارپیچ می‌تواند باعث کاهش ویسکوزیته گدازه در حال اختلاط و افزایش الاستیسیته خمیر می‌گردد که نهایتا منجر به کاهش دانسیته فرآورده اکسترود می‌شود. افزایش سرعت چرخش مارپیچ بر درجه برش و زمان ماند گدازه در پوسته، تجزیه شبکه آمیلوپکتین و تغییر ویژگی‌های رئولوژیکی گدازه تاثیرگذار است. از اینرو تاثیر شگرفی بر الاستیسیته و متعاقبا دانسیته و انبساط فرآورده دارد (Alam *et al*., 2016). از آنجاکه افزایش رطوبت خوراک موجب افزایش دانسیته می‌شود لذا هر چقدر سرعت چرخش مارپیچ بیشتر شود، به‌واسطه اثر همزمان افزایش دما و نیروی برشی، ویکوزیته

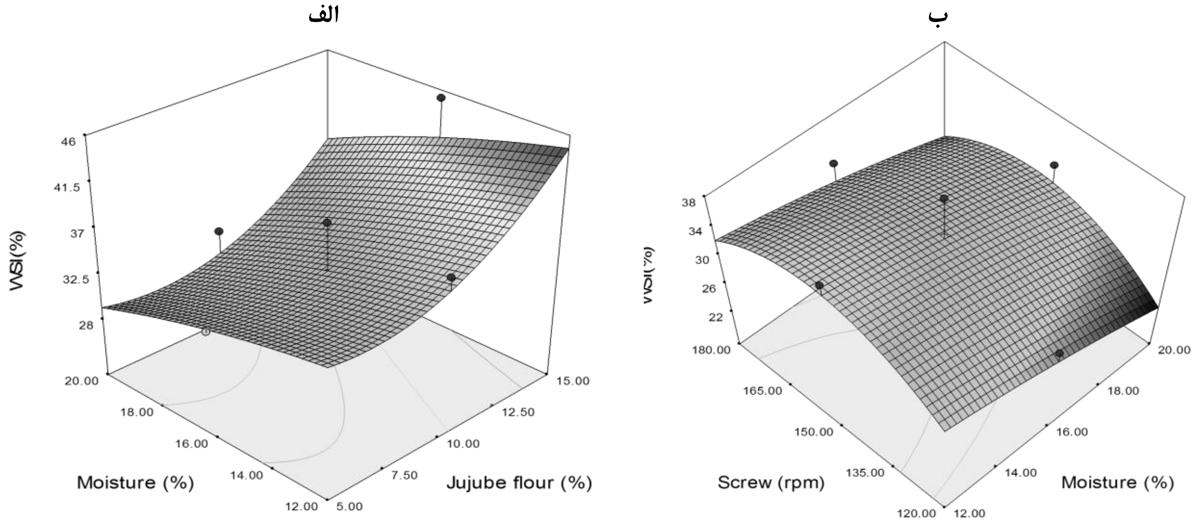
خمیر مذاب کاهش یافته و توزیع رطوبت در خمیر افزایش می‌یابد؛ این امر به کاهش دانسیته فرآورده نهایی می‌انجامد (Thymi *et al.*, 2005).



شکل ۱- نمودار سطح پاسخ برای اثر متغیرهای اکستروژن بر دانسیته توده.
(الف) اثر آرد عناب-رطوبت ورودی (ب) اثر آرد عناب-سرعت چرخش ماردون (ج) اثر رطوبت ورودی-سرعت چرخش ماردون.

شاخص حلالیت

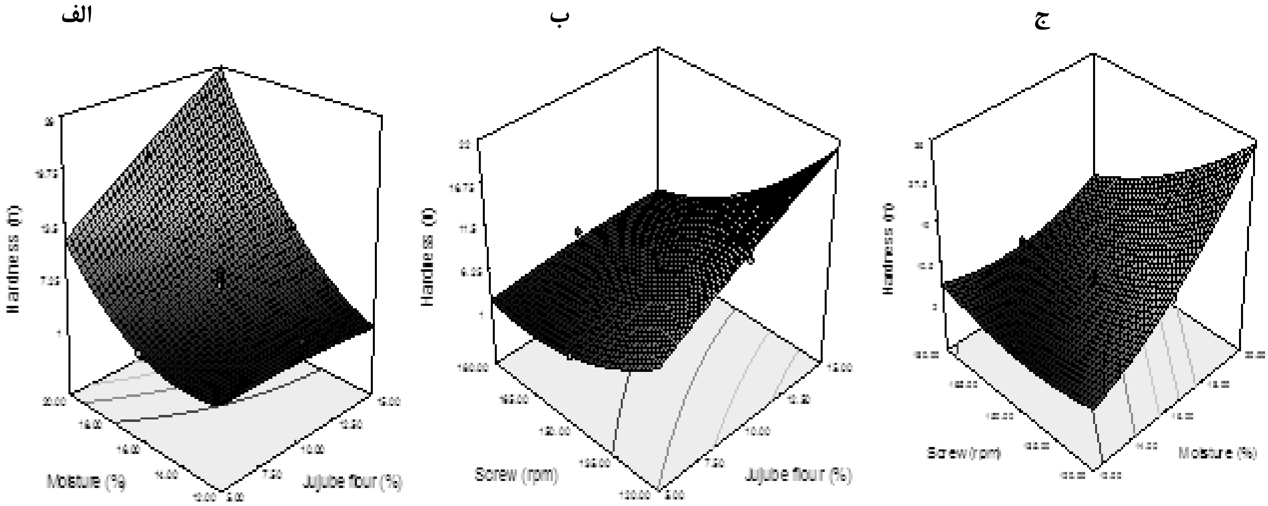
شاخص حلالیت میزان تبدیل اجزای نشاسته به پلی‌ساکاریدهای محلول آزاد طی اکستروژن را اندازه‌گیری می‌کند (Alam *et al.*, 2016). مولکول‌های محلول در آب علاوه بر نشاسته ممکن است از دیگر اجزا از جمله فیبرها و پروتئین طی دناتوراسیون تولید شود (Selani *et al.*, 2014).همان‌طور که در جدول (۲) نشان داده شده است، مدل چند جمله‌ای درجه دوم برای شاخص حلالیت در آب از نظر آماری معنی‌دار بود ($p<0/05$). پارامتر آرد عناب و رطوبت به‌طور مستقل و توان دوم سرعت چرخش ماردون بر شاخص حلالیت معنی‌دار بودند ($p<0/05$). با توجه به شکل (۲- الف) شاخص انحلال در آب با افزایش درصد آرد عناب در محصول اکسترود شده بر پایه گندم-ذرت، طی فرایند اکستروژن در اثر نیروی برشی اعمال شده، با تبدیل بخشی از ترکیبات فیبری نامحلول به ترکیباتی با وزن مولکولی کم، افزایش یافت. در فرایند ژلاتیناسیون، نشاسته دارای ظرفیت نگهداری آب بیشتری نسبت به بخش فیبری نظیر سلولز و همی‌سلولز بوده و جایگزینی بخشی از فراورده‌های جانبی کشاورزی حاوی فیبر در فرمولاسیون سبب کاهش نسبی مقدار نشاسته و رقابت در جذب آب گردیده و از طرفی ترکیبات فیبری موجود طی فرایند اکستروژن به ترکیباتی با وزن مولکولی کم تبدیل شده و در نتیجه میزان شاخص انحلال در آب افزایش و شاخص جذب آب کاهش می‌یابد (Bisharat *et al.*, 2013). در پژوهشی مشابه Potter و همکاران (۲۰۱۳) روی محصول اکسترود شده حاوی ذرت با افزودن ضایعات گوجه‌فرنگی به‌خصوص لیکوپن، از میزان نشاسته اولیه در فرمولاسیون، از میزان جذب آب و ژلاتیناسیون کاسته شده و بخشی از ترکیبات فیبری موجود نامحلول به ترکیباتی با وزن مولکولی کم شکسته شده و در نتیجه میزان شاخص جذب آب کاهش و شاخص انحلال افزایش یافت.با افزایش درصد رطوبت خوراک، میزان انحلال در آب کاهش یافت (شکل۲- الف). این موضوع ممکن است به دلیل ژلاتیناسیون بیشتر، تجزیه گرانول های نشاسته و دپلیمریزاسیون نشاسته در رطوبت پایین باشد که سبب افزایش اندیس حلالیت در آب می‌شد (Sebio & Chang2000). رطوبت بالا، احتمالا به‌دلیل نقش پلاستی‌سایزری آب، سبب کاهش اثر برشی و در نتیجه کاهش تجزیه نشاسته می‌شود. به‌روز پدیده اخیر افزایش جذب آب و کاهش اندیس حلالیت را در بر خواهد داشت (Singh *et al.*, 2007). در واقع با افزایش مقدار رطوبت ماده اولیه زمان ماند در داخل اکسترودر کاهش یافته و از این رو میزان اثر برشی، تجزیه و دپلیمزیره شدن نشاسته کاهش می‌یابد که سبب کاهش اندیس حلالیت در آب می‌شود. با افزایش سرعت چرخش ماردون از ۱۲۰ تا ۱۸۰ دور بر دقیقه، میزان انحلال در آب محصول افزایش یافت (شکل۲- ب). برای سیب‌زمینی هندی اکسترودی با افزایش سرعت چرخش ماردون و کاهش رطوبت ماده خوراک ورودی، اندیس حلالیت در آب افزایش یافت که گواهی بر دکسترینه شدن نشاسته در شرایط شدید فرایند پخت است (Sebio & Chang 2000). افزایش برش مکانیکی با افزایش سرعت ماردون سبب تجزیه مولکول‌های بزرگ به مولکول‌های کوچک و کاهش وزن مولکولی می‌شود که در نتیجه اندیس حلالیت در آب افزایش می‌یابد.



شکل ۲- نمودار سطح پاسخ برای متغیرهای اکستروژن بر WSI.
(الف) اثر آرد عناب-رطوبت ورودی (ب) اثر رطوبت ورودی-سرعت چرخش ماردون.

سختی

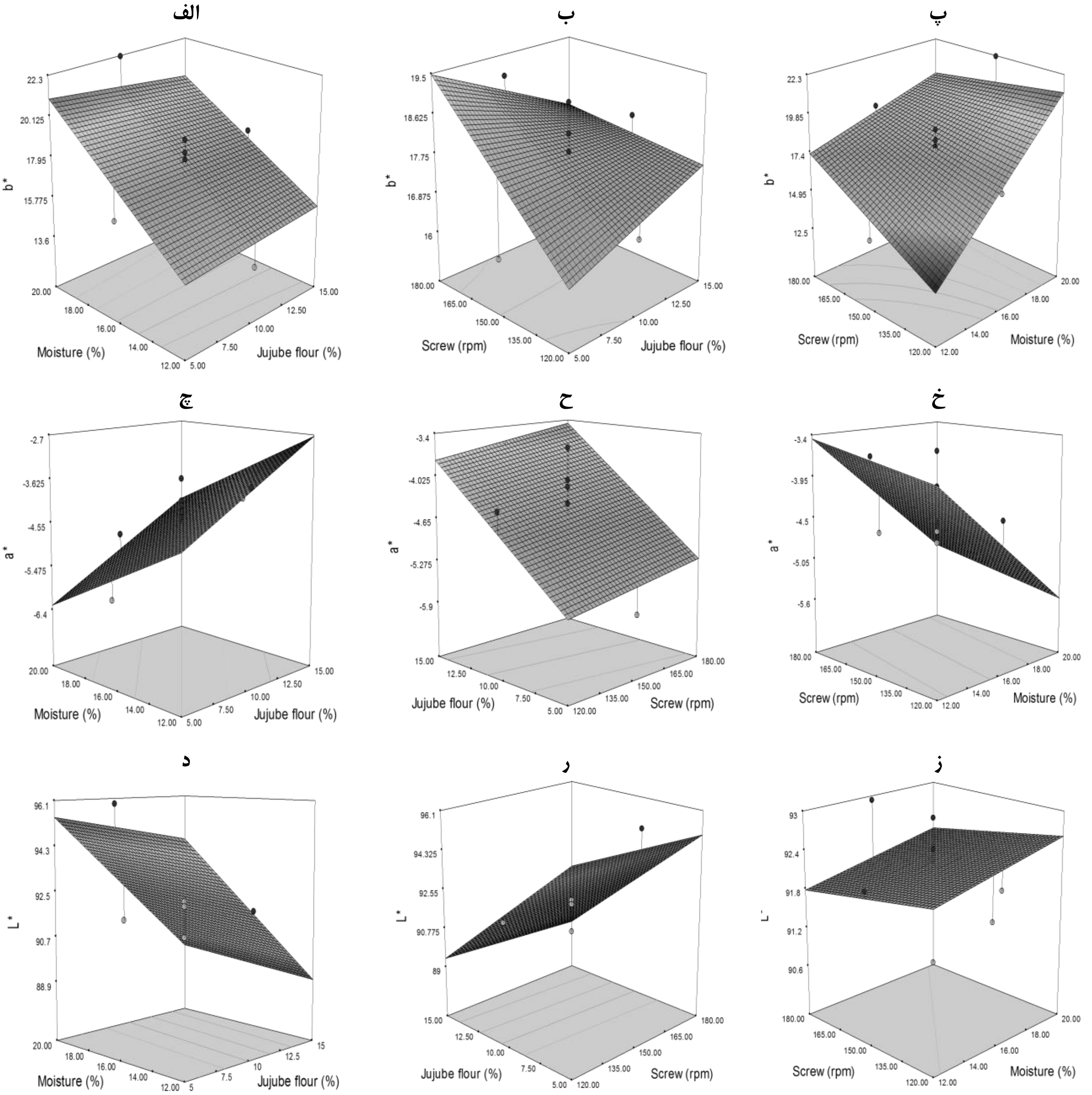
سختی و تردی فراورده‌های حجیم نتیجه ادراک انسان از بافت محصول می‌باشد که مرتبط با انبساط، تخلخل و ساختار سلولی میان وعده‌ها است (Altan & Maskan, 2011). همانطور که در جدول-۲ نتایج آنالیز واریانس نشان داده شده است، مدل چندجمله ای درجه دوم برای سختی از نظر آماری معنی‌دار بود.



شکل ۳- نمودار سطح پاسخ برای متغیرهای اکستروژن بر سختی بافت.
(الف) اثر آرد عناب-رطوبت ورودی (ب) اثر آرد عناب-سرعت چرخش ماردون (ج) اثر رطوبت ورودی-سرعت چرخش ماردون.

تمام پارامترها به‌صورت مستقل، روابط متقابل و توان دوم آن‌ها (به‌جز توان دوم درصد آرد عناب) بر سختی محصولات اکسترود شده، معنی‌دار بودند (p<۰/۰۵). بافت یکی از مهم‌ترین خصوصیات حسی محصولات اکسترود شده در توسعه محصولات میان وعده به‌شمار می‌رود. افزودن هر نوع فراورده جانبی به فرمولاسیون محصولات اکسترود شده سبب تغییرات بافتی محصولات می‌گردد (Altan *et al.*, 2008). با توجه به شکل (۳- الف و ج) با افزایش با افزایش درصد رطوبت و درصد جایگزینی آرد عناب در فرمولاسیون میان وعده ذرت-گندم، میزان سختی محصولات به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (p<۰/۰۵). این امر می‌تواند به دلیل تاثیر فیبر بر ضخامت

دیواره سلول توجیه نمود. Onwulata و همکاران (۲۰۰۰) عنوان کردند که مواد غنی از فیبر سبب کاهش اندازه سلول هوایی و تشکیل دیواره ضخیم می‌گردند. محصولات اکسترود شده حاوی فیبر دارای یکنواختی کمتر و پارگی بیشتر سلول‌های هوایی در مقایسه با محصولات حاوی نشاسته ذرت می‌باشند.



شکل ٤- نمودار سطح پاسخ برای متغیرهای اکستروژن بر پارامترهای رنگی.
(الف) اثر آرد عناب-رطوبت ورودی (ب) اثر آرد عناب-سرعت چرخش ماردون (ج) اثر رطوبت ورودی-سرعت چرخش ماردون

فیبرهای درشت مولکول سبب تاخیر در تشکیل و توسعه سلول‌های هوایی شده و قبل از اینکه سلول‌های هوایی به بیشینه انبساط برسند، تخریب می‌شوند (Robin *et al*., 2011). با افزایش میزان رطوبت ورودی قطر سلول‌های هوایی بدون افزایش ضخامت دیواره سلولی کاهش یافته و به دلیل تراکم سلولی نسبت انبساط شعاعی کاهش و میزان سختی بافت افزایش یافت. نتایج حاصل با نتایج Bisharat و همکاران (۲۰۱۳) روی محصول اکسترود شده حاوی سبزیجات خشک و Lazou و همکاران (۲۰۱۱) روی محصول

اکسترود شده آرد ذرت-عدس، مطابقت دارد.در شکل (۳- ب و ج) با افزایش سرعت چرخش ماردون در درصد رطوبت کم فرمولاسیون ثابت (۱۲ درصد) و در رطوبت های بالاتر، کاهش یافت. نتایج حاصل با نتایج Alam و همکاران (۲۰۱۶) و Awolu و همکاران (۲۰۱۵) که به‌ترتیب به بررسی اثر سرعت چرخش ماردون روی بافت محصول اکسترود شده حاوی هویج و گلم کلم را بر میان وعده سویا و آرد برنج، کاساوا و بادام‌زمینی بر میان وعده ذرت پرداخته بودند، مطابقت داشت. این پدیده مربوط می‌تواند به دلیل اثر سرعت چرخش ماردون در افزایش انرژی مکانیکی مخصوص و میزان برش حاصله و نقش آن در افزایش میزان انبساط و کاهش سختی بافت باشد (Zarzycki *et al*., 2010). افزایش سرعت چرخش ماردون سبب افزایش انرژی مکانیکی مخصوص می‌شود که اثر مثبت روی میزان انبساط دارد، بنابراین سختی بافت کاهش می‌یابد (Wu *et al*., 2007).

رنگ

تغییرات رنگ می‌تواند اطلاعات مهمی درباره واکنش‌های قهوه ای شدن و آمینواسیدها، مایلارد، کاراملیزاسیون، درجه پخت و تخریب پیگمان در طول فرایند اکستروژن پخت در اختیار بگذارد (Lazou, 2010). لیزین و سایر آمینواسیدها که در مواد اولیه وجود دارند ممکن است با قندهای احیا واکنش داده و با وقوع واکنس میلارد سبب تیره‌تر شدن رنگ محصولات اکسترودی شوند (Lazou, 2010). همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده است، مدل خطی برای مولفه روشنایی (L^*)، قرمزی (a^*) و مدل چندجمله‌ای برای مولفه زردی (b^*) از نظر آماری معنی‌دار بود ($p<۰/۰۵$). پارامتر درصد آرد عناب به‌طور مستقل بر روشنایی (L^*)، پارامتر درصد آرد عناب و رطوبت خمیر ورودی به‌طور مستقل بر قرمزی (a^*) و پارامتر درصد آرد عناب و رطوبت خمیر به‌طور مستقل و اثر متقابل درصد رطوبت- سرعت چرخش ماردون بر زردی (b^*) محصولات، معنی‌دار بودند ($p<۰/۰۵$). مطابق شکل‌های (۴- الف و چ و د)، با افزایش درصد آرد عناب، میزان روشنایی و قرمزی فراورده به‌ترتیب کاهش وافزایش یافت. این امر به‌دلیل وجود قند و فیبر در آرد عناب و افزایش واکنش‌های قهوه‌ای شدن قابل توجیه است. به احتمال زیاد تغییر در میزان مولفه روشنایی در ارتباط مستقیم با میزان سختی بافت و ضریب انبساط‌شوندگی محصول تولیدی است (Dehghan-Shoar *et al*., 2010). نمونه‌های دارای بیشترین میزان روشنایی، دارای کمترین میزان فشردگی بافت (سختی کمتر) و بیشترین ضریب انبساط‌شوندگی بودند. می‌توان بیان نمود که بافت‌های سفت و متراکم به دلیل ناهمگون بودن بافت از انعکاس نور و درخشندگی کمتری برخوردار می‌باشند (Omohimi *et al*., 2014). نتایج مشابهی Potter و همکاران (۲۰۱۳) در تولید محصولات اکسترود شده حاوی پودرهای میوه مشاهده نمونند. با افزایش رطوبت شاخص قرمزی کاهش و شاخص زردی افزایش یافت (شکل۴- ب و ح و ر). با افزایش میزان رطوبت مقدار گرمای تولیدی در اثر اصطکاک کاهش یافته، در نتیجه احتمالا واکنش میلارد که عامل تیره شدن رنگ است کمتر رخ داده و از شدت رنگ کاسته شد. همچنین در این شرایط میزان تخریب رنگدانه‌های ذرت کمتر شده و فاکتور زردی افزایش یافته است (Kim andMaga, 1987). نتایج مشابه در مورد فراورده اکسترود شده تفاله آناناس (Salani *et al*., 2014) و انگور (Altan *et al*., 2008) نیز مشاهده شد.

بهینه‌سازی فرمولاسیون و شرایط فرایند اکستروژن جهت تولید میان وعده فراسودمند

در این پژوهش، هدف از بهینه‌سازی به حداکثر رساندن خصوصیات میان وعده غنی شده با آرد عناب بود. نتایج حاصل از بهینه‌یابی فرمولاسیون میان وعده، جهت دستیابی به شرایط بهینه، شامل میزان جایگزینی آرد عناب ۶/۳۰ درصد، رطوبت خوراک ۱۳/۱۹ درصد و سرعت چرخش ماردون ۱۲۲/۲ دور بر دقیقه تعیین گردید.

نتیجه‌گیری

میان وعده‌ها قسمتی از عادت غذایی بخش کثیری از جمعیت جهان می‌باشد. مصرف بالا و افزایش تنوع میان وعده‌های اکسترود در سال‌های اخیر مبین ضرورت توجه در باب افزایش کیفیت تغذیه‌ای آن‌ها در کنار میزان پذیرش از سوی بازار مصرف می‌باشد. با توجه به برخی آثار سوء تغذیه‌ای بعضی از میان وعده‌های موجود در بازار، حساسیت زیادی در خصوص مصرف آن‌ها وجود دارد. این موضوع خود اهمیت پژوهش در زمینه تولید فرآورده‌های جایگزین و سالم را در این زمینه نشان می‌دهد. بهبود ارزش تغذیه‌ای فرآورده‌های حجیم می‌تواند نقشی موثر در وضعیت تغذیه‌ای و سلامت جامعه ایفا نماید. از جمله فرصت‌های ایجاد شده در راستای توسعه فناوری تولید میان وعده‌های حجیم فراسودمند، گسترش آگاهی و گرایش مصرف‌کنندگان نسبت به استفاده از فراورده‌ای غذایی رژیمی و عملگر، بازار داخلی بسیار وسیع در صنعت تولید غذا و همجواری با بازارهای در حال توسعه منطقه و امکان صادرات فراورده خواهد بود. نتایج پژوهش بیانگر کارایی مناسب عناب به‌عنوان محصول استراتژیک در فرمولاسیون میان وعده حجیم سلامتی‌زا بود.

منابع

احمدیان، پ. ۱۳۹۶. تاثیر افزودن صمغ گوار و پودر عناب بر خصوصیات کیک اسفنجی. کنفرانس بین المللی مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی.

پویان، م.، ۱۳۶۹.، اطلس گیاهان جنوب خراسان، نشر دانش مشهد.

حسینی، آوا، س. ۱۳۸۱. عناب. انتشارات فنی معاون ترویج سازمان تات.

سیروس، ک؛ قیافه داوودی، م؛ صادقی، ف. ۱۳۹۶. بررسی اثر عصاره عناب بر فعالیت آبی و حجم مخصوص نان فراسودمند. دومین کنگره بین المللی و بیست و پنجمین کنگره ملی علوم و صنایع غذائی ایران.

غروی، ح؛ قیافه داوودی، م؛ احمدزاده قویدل، ر؛ ۱۳۹۵. ارزیابی تاثیر عصاره عناب به عنوان افزودنی فراسودمند بر برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی نان همبرگری. گروه علوم و صنایع غذایی– واحد قوچان- دانشگاه آزاد اسلامی– قوچان– ایران.

فایقی، الف؛ زمردی، ش. ۱۳۹۶. ویژگی های کیفیت کیک اسفنجی حاوی سطوح مختلفی از پوره عناب و مخلوط ایزومالت از جایگزین های ساکارز. اولین همایش ملی تکنولوژی های نوین در علوم و صنایع غذایی و گردشگری ایران .

فیوضی، ب، وریدی، م.ج. میلانی، الف. شهیدی، ف. حداد خداپرست، م. ح. ۱۳۹۷. بهینه سازی متغیرهای فرمولاسیون و شرایط فرایند اکستروژن محصول اسنک حجیم حاوی آرد کنجاله بنه. نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی. ۷(۱): ۴۸-۲۹.

لطفی شیرازی، س، کوچکی ، الف، محبی ، م، میلانی، الف. ۱۳۹۷. ارزیابی اثر متغیرهای ترکیب خوراک و دمای اکستروژن بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی، حسی اسنک بر پایه آرد جو و تفاله هویج. نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران. ۱۴(۵): ۹۰۶-۸۹۱

میلانی، ا.، هاشمی، ن.، مرتضوی، ع.، طباطبایی یزدی، ف.، ۱۳۹۶. بررسی اثر شرایط اکستروژن و فرمولاسیون بر برخی ویژگی های فیزیکو شیمیایی میان وعده حجیم بر پایه کنجاله بادام (Amygdalus communis L) و بلغور ذرت.

Altan, A., McCarthy, K. L., Maskan, M. 2009. Effect of screw configuration and raw material on some properties of barley extrudates. J Food Eng. 92: 377–382.

AACC C. Approved methods of the American association of cereal chemists 2000; 54-21.

Anderson, R., Conway, H., Peplinski A. 1970. Gelatinization of corn grits by roll cooking, extrusion cooking and steaming. *Starch*, 22(4): 130 135.

Alam, M.S., Pathania, S., Sharma, A. 2016.Optimization of the extrusion process for development of high fibre soybean-rice ready-to-eat snacks using carrot pomace and cauliflower trimmings. *LWT - Food Science and Technology*, 74:135-144.

Bisharat, G.I., Oikonomopoulou, V.P., Panagiotou, N.M., Krokida, M.K., Maroulis, Z.B. 2013.Effect of extrusion conditions on the structural properties of corn extrudates enriched with dehydrated vegetables. *Food Research International*, 53: 1–14.

Caltinoglu, C., Tonyalı, B., Sensoy, I. 2013. Original article Effects of tomato pulp addition on the extrudate quality parameters and effects of extrusion on the functional parameters of the extrudates. *International Journal of Food Science and Technology*, 49: 587–594.

Cheng Q. 2000. Flavonoids from *Ziziphus jujube* Mill var. *Spinosa*. Tetrahedron, 56:8915-8920.

Korkerd, S., Wanlapa, S., Puttanlek, C., Uttapap, D. 2016. Expansion and functional properties of extruded snacks enriched with nutrition sources from food processing by-products. *Journal Food Science and Technology*, 53: 561–570.

Kim, C. H. Maga. J. A. 1987. Properties of extruded whey protein concentrate and cereal flour blends. *LWT Food Science and Technology*,20: 311–318.

Lue, S., Hsieh, F., Huff, H. E. 1994. Modeling of Twin-Screw Extrusion Cooking of Corn Meal and Sugar Beet Fiber Mixtures. *Ournal of Food Engineering*, 21: 263–289.

Lazou, A., Krokida, M., Tzia, C. 2010. Sensory properties and acceptability of corn and lentil extruded puffs. *Journal of Sensory Studies*, 25: 838–860.

Lazou A KM. 2010. Functional properties of corn and corn–lentil extrudates. *Food research international*.43 (2):609-16.

Maskan, M. and Altan, A. 2011.Advances in Food Extrusion Technology. CRC Press. New York.

Omohimi, C.I., Sobukola, O.P., Sarafadeen, K.O., Sanni, L.O. 2014. Effect of thermo-extrusion process parameters on selected quality attributes of meat analogue from mucuna bean seed flour. *Nigerian Food Journal*, 32(1):21-30.

Onwulata, C.I., Konstance, R.P., Strange, E.D., Smith, P.W., Holsinger, V.H. 2000. High-fiber snacks extruded from triticale and wheat formulations. *Cereal Foods World*, 45(10):470-473.

Potter, R., Stojceska, V., Plunkett, A. 2013.The use of fruit powders in extruded snacks suitable for Children’s diets. *LWT - Food Science and Technology* 51: 537-544.

Robin, F. E.J., Pineau, N., Chanvrier, H., Bovet, N., Della Valle, G. 2010. Extrusion, structure and mechanical properties of complex starchy foams. *Journal of food engineering*. 98 (1): 19-27.

Singh, B., Sekhon, K. S., Narpinder, S. 2007. Effects of moisture , temperature and level of pea grits on extrusion behaviour and product characteristics of rice. *Food Chemistry*, 100: 198–202

Selani, M., Guidolin, S., Brazaca, C., Tadeu, C., Ratnayake, W. S., Flores, R. A., Bianchini, A. 2014. Characterisation and potential application of pineapple pomace in an extruded product for fibre enhancement. *Food Chemistry*, 163: 23–30.

Sebio, L., Chang, Y. K. 2000. Effects of selected process parameters in extrusion of yam flour (*Dioscorea rotundata*) on physicochemical properties of the extrudates, 44:96–101.

Thymi, S., Krokida, M. K., Pappa, A., Maroulis, Z. B. 2005. Structural properties of extruded corn starch. *Journal of Food Engineerin*g, 68: 519–526.

Wu, W., Huff, H.E., Hsieh, F. 2007. Processing and properties of extruded flaxseed corn puff. *Journal of Food Processing and Preservation*, 31(2):211-226.

Yagci, S. Gogus, F. 2009. Selected physical of expanded extrudates from the blend of hazelnut flour-durum clear flour-rice. *Int J Food Prop*. 12: 405–413.

Zarzycki, P., Rzedzicki, Z., Blaszczak, W. 2010. Application of oat whole-meal and protein components as modifiers of extrudates microstructure. *International Agrophysics*, 24(4):397-406.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 1- 11

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۱۱-۱

Effect of formulation and extrusion technique on technological properties of snack containing jujube flour

E. Milani[1], F. Shahidi[2*], E. Ansarifar[3], M. Khalilian-Movahed[4], F. Salehipoor[5]

Received: 2019.04.21
Accepted: 2019.10.06

Introduction: Extruded snacks were among the most commercially successful extruded foods. Extrusion cooking is the process extensively used for the production of snacks which are mainly produced from cereal flour or starches. Extruded snacks are normally high in calories and fat with low content of protein, fiber, and perceived as unhealthy food to many consumers. Several attempts to improve the nutritional profile of extruded starch by using food by-products have been reported (Onwulata *et al.,* 2001; Stojceska *et al.,* 2008). Zizyphus jujube (*Rhamnaceae*) is widely distributed in Iran and the fruit of this plant has gained wide attention in native herbal medicine for the treatment of a broad range of disorders. Chemical analysis of the fruit has shown the presence of antioxidants. The high consumption of low-value meals and malnutrition among the population, especially children and adolescents, is one of the problems that exists today in society, Therefore, in this research, production of high-nutritional snack with jujube flour was studied.

Materials and methods: Extrusion: In this study, a parallel twin-screw extruder (SAIXIN, model DS56, China) was applied, screw diameter of 15 mm, die diameter of 3 mm, and extrusion temperature of 180°C. Central composite statistical design was used to study the effect of feed moisture (12, 16, 18%), jujube flour addition (5, 10, 15%) and screw speed (120, 150, 180 rpm) on physicochemical properties, texture and color of expanded extrudates based on corn-wheat flour (50-50%). Bulk density was calculated using AACC (2000). The WSI of the dry solids regained through the evaporation of the supernatant obtained from the water absorption test was calculated. Textural measurement: The hardness of the extruded snacks was measured using Texture Analyzer (TAXT plus, England). The cylinder steel probe (2 mm diameter) was set to move at a speed of 1 mm/s. The samples were punctured by the probe to a distance of 8 mm. the color of samples was measured using an image processing technique (Lotfi Shirazi *et al.,* 2020). The color parameters L* (lightness), a*(redness), b*(yellowness) values of the samples were obtained. Response surface methodology was applied for experimental data using a commercial statistical package, Design Expert (version 8.0) for the generation of response surface plot and statistical analysis of the experimental data. The second-order polynomial model was selected to predict the optimal point of the responses.

Results & Discussion: Results showed that the addition of jujube flour independently increased the density 0.33, hardness 35.73 N, solubility 42% and redness (a*) 3.41, and reduced the color brightness parameter (L*) 89.1 of the samples. Similar fiber effects for pineapple pulp (Salani *et al.,* 2014), a mixture of barley flour and grape pulp (Altan *et al*., 2009) and beet fiber (Lue *et al.,* 1994) has been observed. The reduction of bulk density in samples with increasing screw speed is probably due to the starch gelatinization. When gelatinization of the starch material increased, the volume of extruded product also increased giving low density to the samples (Hagenimana *et al.,* 2006). The WSI is a parameter which indicates the degradation of starch granules (Sharma *et al.,* 2015). WSI decreased with increasing feed moisture and increased with increasing jujube flour or screw speed. Increase in solubility of extruded products under mild extrusion condition could result from dispersion of amylose and amylopectin molecules during gelatinization; while, the formation of low molecular weight compounds under severe conditions (low moisture and high temperature) is the main reason for an increase in flour solubility (Colonna et al., 1984). Color changing during extrusion process can provide important information regarding the degree of browning and Maillard reaction, and also pigment degradation. Increasing the feed moisture increased flour L* while it decreased the a* and ΔE of the final product. This is probably due to the decrease in mass residence time inside the extruder which causes shorter residence time necessary for non-enzymatic darkening (Lazou and Krokida, 2011). Texture is one of the most important sensory properties of extruded

1. Associate Professor, Iranian Academic Center for Education Culture and Research (ACECR) of Mashhad, Iran.
2. Professor, Department of Food Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran.
3. Assistant Professor, Social Determinants of Health Research Center, Department of Public Health, School of Health, Birjand University of Medical Sciences, Birjand, Iran.
4. PhD student of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
5. M.Sc Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran.
(*Corresponding Author Email: fshahidi@um.ac.ir)

products in the development of snack products. Increasing the feed moisture and jujube flour increased hardness of samples. This can be explained by the effect of fiber on cell wall thickness. However, the simultaneous effect of two parameters of screw speed and jujube flour improved the properties of the snacks, by which the increase of the screw speed may cause a decrease of the starch viscosity and then lead to extrudates with reduced hardness 1.79 N. Optimum conditions for puffed snack production was found to be 13.19% feed moisture content, 6.30 % jujube flour, 122.2% screw speed.

Keywords: Puffed snack, jujube, Extrusion, Dietetic.